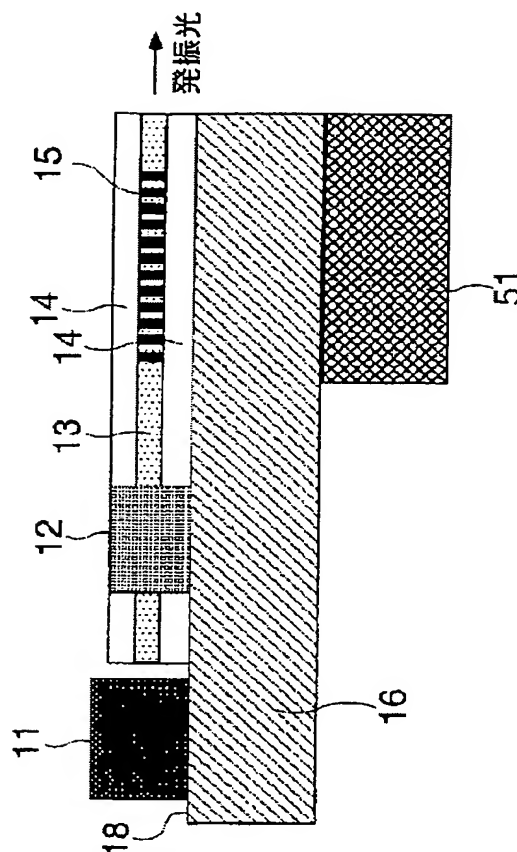


Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2002134833
 PUBLICATION DATE : 10-05-02
 APPLICATION DATE : 23-10-00
 APPLICATION NUMBER : 2000323209
 APPLICANT : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
 <NTT>;
 INVENTOR : ABE ATSUSHI;
 INT.CL. : H01S 5/14 G02B 6/122 G02B 6/12
 G02B 6/42 G02B 26/00 H01S 5/026
 TITLE : TEMPERATURE INDEPENDENT
 LASER



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a temperature independent laser with oscillation frequency independent from temperature environment, along with small mode hopping with respect to an external resonator frequency stabilizing laser made up of a Bragg grating in the optical waveguide and a semiconductor LD.

SOLUTION: The laser includes an optical waveguide made up of a core 13 and a clad 14 formed on a substrate 16, a semiconductor LD 11, a Bragg grating 15, and a part of a core of the optical waveguide provided between the semiconductor LD and the grating and replaced by a material 12 having a refractive-index temperature coefficient coded contrarily from that of the semiconductor LD. A bimetal plate 51 made of two kinds of metals is bonded to at least one face of a lower face of the substrate 16 and an upper face of the clad 14. The bimetal plate functions as the temperature increases to make the pitch of grating small and cancel the temperature dependence of the grating.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-134833

(P2002-134833A)

(43) 公開日 平成14年5月10日 (2002.5.10)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	7-73-1 [*] (参考)
H 0 1 S 5/14		H 0 1 S 5/14	2 H 0 3 7
G 0 2 B 6/122		G 0 2 B 6/42	2 H 0 4 1
	6/12	26/00	2 H 0 4 7
	8/42	H 0 1 S 5/026	5 F 0 7 3
	26/00	G 0 2 B 6/12	B

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-323209 (P2000-323209)

(22) 出願日 平成12年10月23日 (2000.10.23)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 田中 拓也

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 日比野 尊典

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100077481

弁理士 谷 登一 (外1名)

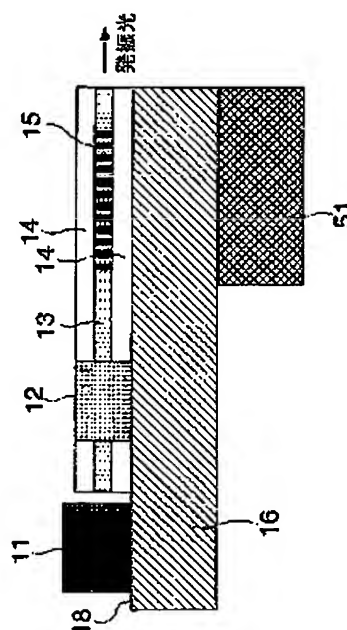
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 温度無依存型レーザ

(57) 【要約】

【課題】 光導波路中のブラッググレーティングと半導体LDで構成される外部共振器型の周波数安定化レーザにおいて、モードホッピングが抑制されているのみならず、発振周波数が環境温度に依存しない温度無依存型レーザの提供。

【解決手段】 このレーザは、基板16上に形成されたコア13とクラッド14とから成る光導波路と、半導体LD11と、ブラッググレーティング15と、半導体LDとグレーティングの間に配置された光導波路のコア部分を半導体LDと逆符号の屈折率温度係数を有する材料12で置換した部分とを有し、基板16の下面あるいはクラッド14の上面のうちの少なくとも片面に2種の金属層からなるバイメタル板51を接着している。バイメタル板は温度上昇に伴ってグレーティングのピッチを狭くするように作用し、グレーティングの温度依存性をキャンセルする。



(2)

特開2002-134833

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 平面基板上に形成され光を伝播する屈折率の高いコアとそのコアの周囲の屈折率の低いクラッドとから成る光導波路と、

前記平面基板と同一の基板上に搭載された半導体LDと、

前記光導波路の所定位置に形成されたブラッググレーティングと、

前記半導体LDと前記グレーティングの間に配置された前記光導波路の前記コア部分を該半導体LDと逆符号の屈折率温度係数を有する材料で置換した温度係数調整用部分とを有する周波数安定化レーザであって、

前記平面基板の下面あるいは前記クラッドの上面のうちの少なくとも片面に2層の金属からなるバイメタル板を接着したことを特徴とする温度無依存型レーザ。

【請求項2】 平面基板上に形成され光を伝播する屈折率の高いコアとそのコアの周囲の屈折率の低いクラッドとから成る光導波路と、

前記平面基板と同一の基板上に搭載された半導体LDと、

前記光導波路の所定位置に形成されたブラッググレーティングと、

前記半導体LDと前記グレーティングの間に配置された前記光導波路の前記コアの一部分を該半導体LDと逆符号の屈折率温度係数を有する材料で置換した温度係数調整用部分とを有する周波数安定化レーザであって、

前記平面基板の下面に少なくとも前記半導体LDから前記ブラッググレーティングまで2層の金属からなるバイメタル板を接着したことを特徴とする温度無依存型レーザ。

【請求項3】 前記光導波路が石英系ガラスで構成されていることを特徴とする請求項1または2に記載の温度無依存型レーザ。

【請求項4】 前記温度係数調整用部分が前記光導波路をほぼ82度の角度で備切っていることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の温度無依存型レーザ。

【請求項5】 前記温度係数調整用部分が複数本に分かれていることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の温度無依存型レーザ。

【請求項6】 前記半導体LDが高圧特性LDであることを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の温度無依存型レーザ。

【請求項7】 前記温度無依存型レーザを同一基板上に複数集積してレーザアレイを構成したことを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の温度無依存型レーザ。

【請求項8】 前記レーザアレイを構成する各前記温度無依存型レーザの前記温度係数調整用部分が連続に繋がっており、液だめに連続していることを特徴とする請求項7に

記載の温度無依存型レーザ。

【請求項9】 各前記温度無依存型レーザの前記グレーティングの後端部に接続するアレー格子型1×N波長分波器または1×Nカプラを集積して多波長レーザを構成したことを特徴とする請求項7または8に記載の温度無依存型レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光導波路中のブラッググレーティングと半導体LDで構成される外部共振器型の周波数安定化レーザにおいて、特にモードホッピングが抑制されているのみならず、発振周波数が環境温度に依存しない温度無依存型レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】温度に依存するモードホッピングを抑制するように構成した周波数安定化レーザが提案されている。この周波数安定化レーザは、石英系導波路中のブラッググレーティングと半導体LDの間にシリコン樹脂を挿入した構成のものであり、そのグレーティングの周波数選択性を利用して単一モード発振をすることができ、温度係数が半導体レーザに比較して低く、温度を変えてもモードホッピングをしない、発振周波数の制御が容易である等の長を有するので、光通信、光情報処理、光計測、分光用光源として様々な応用が期待されている（参考文献：T. Tanaka, et al., Electron. Lett., vol. 35, no. 13, 149, (1999)）。及び田中他1999年電子情報通信学会総合大会講演論文集、C-3-7を参照）。

【0003】上記ブラッググレーティングには、光誘起グレーティングが用いられていることが多く、光誘起グレーティングの作製技術については、ケニス・オー・ヒル等により発明されている（参考文献：特開平7-140311号公報参照）。以後の説明では、ブラッググレーティング及び光誘起グレーティングを名称の簡略化のために単にグレーティングと言ひ換える。

【0004】図14は従来の技術を用いて作製した上記の構成の周波数安定化レーザを斜め上から観察した模式図である。同図において、11は半導体LD（レーザダイオード）であり、12は石英導波路に交差するように設けた溝中に搭載した温度係数調整材料であり、13は石英導波路を構成し光を伝播する屈折率の高いコアであり、14は石英導波路を構成しそのコアの周囲の屈折率の低いクラッドである。15はその石英導波路（光導波路）の所定位置に形成されたグレーティング（ブラッググレーティング）であり、16はこれら部材を搭載するSiの基板（平面基板）である。18は半導体LD11を搭載するために石英ガラスを取り除いた部分でシリコンテラスと呼ばれている。温度係数調整材料12は共振器を構成する半導体LD11とグレーティング15間の石英導波路の一部を置換するように配置される。

(3)

特開2002-134833

3

4

【0005】石英系導波路中のグレーティング15と半導体LD11で構成される周波数安定化レーザの発振モードを以下に説明する。半導体LD11に注入電流を流して発光させると、グレーティング15の反射スペクトルに対応した周波数の光のみがグレーティング15で反射される。従って、半導体LD11の後端面からグレーティング15までの区間をレーザキャビティとして発振する。

【0006】そして、グレーティング15および半導体LD11の後端面以外からの半導体LD11への反射戻り光が無いように、半導体LDの出射面には空気との界面に対する反射防止膜（図示しない）が施され、半導体LD側の石英導波路の端面はコア13の近傍部がコア13の光軸に直交する方向に対して傾いている（参考文献：特開平6-230237号公報参照）。

【0007】一般に、グレーティング15の反射周波数の帯域は50GHz程度である。一方、上記のレーザキャビティ長が0.5cm程度であるので、縦モードの周波数間隔は20GHz程度となり、縦モードが3本程度存在し得る。したがって、この中でグレーティング15の反射中心周波数に最も近いものだけが選択されて発振する。この発振光はグレーティング15の後端面側のコア13から外部に出射される。

【0008】また、その発振周波数は、温度変化に対してモードホッピングを起こさない。その理由は、以下のようにになっている。グレーティング15の中心周波数の温度係数と縦モードの温度係数が以下で説明するように同じ値になっているため、グレーティング15の反射中心周波数と縦モード周波数の間隔は変化しない。すなわち*

$$m = \frac{m_{LD} n_{LD} L_{LD} + m_{wg} n_{wg} L_{wg} + m_m n_m L_m}{n_{LD} L_{LD} + n_{wg} L_{wg} + n_m L_m} = m_{wg} \quad (1)$$

【0012】ただし、 m_{LD} 、 m_{wg} 、 m_m は、それぞれ半導体LD11の共振器の共振周波数の温度係数、石英導波路部分を共振器とした場合の共振周波数の温度係数、温度係数調整材料12の温度係数である。また、 n_{LD} 、 n_{wg} 、 n_m は、それぞれ半導体LD11の導波層の実効屈折率、半導体LD11とグレーティング15の間の石英導波路の実効屈折率、温度係数調整材料12の屈折率である。さらにまた、 L_{LD} 、 L_m 、 L_{wg} は、それぞれ半導体LD11の共振器長、温度係数調整材料12が搭載された部分の光路方向の長さ、半導体LD11の出射端からグレーティング15の中心までの（温度係数調整材料12が封入された領域を除く）石英導波路部分の長さを表す。

【0013】上式（1）に示したように、縦モードの温度係数 m が石英導波路の温度係数 m_{wg} に等しくなるように温度係数調整材料12を搭載する部分の長さ L_{wg} を調節してある。

【0014】上式（1）の各パラメータの具体的な値は以下のようにになる。石英導波路の等価屈折率 $n = n_{wg} =$

*ち、温度変化が生じて常にも同じ縦モードが選択されており、モードから別の縦モードに変化する「モードホッピング」が生じることはない。

【0009】以下、グレーティング15の反射中心周波数の温度係数と縦モードの温度係数が等しい理由を説明する。グレーティング15の中心周波数の温度係数は石英ガラスの温度係数、すなわち石英ガラスで作製した共振器の共振周波数の温度係数である。また、図14に示したように、温度係数調整材料12を半導体LD11とグレーティング15の間に挿入してあるので、縦モードの温度係数は、石英ガラス（13、14）の温度係数と温度係数調整材料12の温度係数と半導体LD11の温度係数にそれぞれの光路長を掛けあわせた重み平均の値になっている。半導体LD11の温度係数は、石英ガラス（13、14）の温度係数と同符号で、その大きさが石英ガラスの温度係数の10倍程度である。ここで、半導体LD11と逆の温度係数の温度係数調整材料12を用いて半導体LD11の温度係数を打ち消して、外部共振器レーザ全体の縦モードの温度係数を石英ガラス（13、14）の温度係数、すなわちグレーティング15の中心周波数の温度係数に一致させることができる。

【0010】従来の周波数安定化レーザの設計を説明する。従来の周波数安定化レーザの縦モードの温度係数 m は、近似的に次式（1）に示される。すなわち、縦モードの温度係数 m が、石英導波路の温度係数 m_{wg} に等しくなるように周波数安定化レーザの構造が設計されている。

【0011】

【数1】

1. 45、温度係数調整材料12の屈折率 $n = n_m =$
1. 39、半導体LD11の導波層の等価屈折率 n_{wg}
3. 5である。また、半導体LD11の長さ L_{LD} は0. 60mmである。半導体LD11の出射端からグレーティング15の手前までの長さは1. 5mmであり、グレーティング15の長さは3. 0mmである。従って、半導体LD11の出射端からグレーティング15の中心までの（温度係数調整材料12が封入された領域を除く）石英導波路部分の長さ L_{wg} は、（3. 0 - L_m ）mmである。

【0015】また、温度係数の値は以下のようにになる。半導体LD11の導波層の温度係数 $m_{LD} = -12. 9$ （GHz/K）、石英導波路の温度係数 $m_{wg} = -1. 4$ （GHz/K）、温度係数調整材料12の温度係数 $m_m = 54$ （GHz/K）である。温度係数調整材料12としてはシリコン樹脂を用いている。

【0016】上記のパラメータを（1）式を代入すると、

$L_m = 300 \mu m$

(4)

特開2002-134833

5

が得られる。従来の周波数安定化レーザでは、温度係数調整材料の部分の長さ L_0 は、上記のように(1)式に基づいて設計されている。なお、この点に関してのより詳しい計算については、特開平11-97784号公報中に記載されている。

【0017】なお、一般にグレーティング15の反射率は40～99%、半導体LD11と石英系導波路との光の結合損失は4dB±1.5dB程度、温度係数調整材料12での損失は1dBになっている。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述したような従来の周波数安定化レーザでは、選択されている縦モードの周波数の温度係数は石英系導波路の温度係数に等しい。また、その発振周波数は選択されている縦モード周波数であるから、発振周波数が、モードホッピングなしに石英系導波路の温度係数で温度変化と共に変化する。この温度係数は、 $m_{sc} = -1.4$ (GHz/K)である。

【0019】周波数安定化レーザを温度コントローラなしで用いることは、温度コントロールの複雑な制御系が必要になり、コスト削減の面からも通信システムにとって大変魅力的なことである。

【0020】しかし、従来の周波数安定化レーザを温度コントローラを用いずに通信に用いた場合、30℃の温度変化で発振周波数が42GHz程度ずれてしまう。ここで、WDM (wavelength division multiplex; 波長分割多重方式) 伝送の光源は、周波数間隔の±20%以内に発振波長がITU (International Telecommunications Union; 国際電気通信連合) グリッドに制御されていなければならない。すなわち、100GHz間隔のWDM伝送の場合、発振周波数の許容値は±20GHzである。したがって、温度コントローラなしで室温が30℃以上変化する環境では、上記のような従来の周波数安定化レーザを使用することができない。

【0021】そこで、温度コントローラなしで室温が大きく(例えば30℃以上)変化する環境で使える周波数安定化レーザが望まれていた。すなわち、モードホッピングが抑制されているのみならず、発振周波数が環境温度に依存しない温度無依存型レーザが望まれていた。

【0022】本発明は、このような課題を解決するためになされたものであり、その目的は、グレーティングの反射中心周波数の温度依存性を無くし、さらに縦モード周波数の温度依存性を無くして両者を一致させることにより、モードホッピングが抑圧され、かつ発振周波数の温度依存性がない温度無依存型レーザを提供することにある。

【0023】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1の温度無依存型レーザの発明は、平面基板上に形成され光を伝播する屈折率の高いコアとそのコア

6

の周囲の屈折率の低いクラッドとから成る光導波路と、前記平面基板と同一の基板上に搭載された半導体LDと、前記光導波路の所定位置に形成されたブラッググレーティングと、前記半導体LDと前記グレーティングの間に配置された前記光導波路の前記コア部分を該半導体LDと逆符号の屈折率温度係数を有する材料で置換した温度係数調整用部分とを有する周波数安定化レーザであって、前記平面基板の下面あるいは前記クラッドの上面のうちの少なくとも片面に2層の金属からなるバイメタル板を接合したことを特徴とする。

10

【0024】また、請求項2の温度無依存型レーザの発明は、上記と同様の周波数安定化レーザであって、前記平面基板の下面に少なくとも前記半導体LDから前記ブラッググレーティングまで2層の金属からなるバイメタル板を接合したことを特徴とする。

【0025】ここで、前記光導波路が石英系ガラスで構成されていることを特徴とすることができる。

【0026】また、前記温度係数調整用部分が前記光導波路をほぼ82度の角度で横切っていることを特徴とすることができる。

20

【0027】また、前記温度係数調整用部分が複数本に分かれていることを特徴とすることができる。

【0028】また、前記半導体LDが高温特性LDであることを特徴とすることができる。

【0029】また、前記温度無依存型レーザを同一基板上に複数集積してレーザアレイを構成したことを特徴とすることができる。

【0030】また、前記レーザアレイを構成する各前記温度無依存型レーザの前記温度係数調整用部分が連続に繋がり、液だめに連続していることを特徴とすることができる。

30

【0031】また、各前記温度無依存型レーザの前記グレーティングの後端部に接続するアレー格子型1×N波長分波器または1×Nカプラを集積して多波長レーザを構成したことを特徴とすることができる。

【0032】(作用) 本発明では、上記構成により、以下のようにモードホッピングを抑制できる。

【0033】まず、従来技術と同様に、屈折率温度係数が半導体LDと逆の材料をグレーティングとLDの間に搭載することで、周波数安定化レーザのレーザキャビティ中において温度変化による半導体LDの光路長変化および光導波路の光路長変化を打ち消すことができる。屈折率温度係数が半導体LDと逆の材料を搭載する領域(温度係数調整用部分)の大きさを適切に設計することにより、その結果レーザキャビティの共振周波数(縦モード周波数)の温度係数を0 [GHz/℃]にすることができる。

【0034】そして、本発明では、グレーティングを有するPLC型レーザのクラッド面または基板面またはその両方に2層の金属からなるバイメタル板を接合してい

50

7

る。バイメタル板は温度に依存して凹型や凸型に湾曲し、光導波路に刻まれたグレーティングのピッチを変化させる。グレーティングのピッチは温度が上昇すると広がるという温度依存性を持つので（参考文献：日比野他「温度無依存光波回路デバイス」特願平11-191373号参照）、バイメタル板を温度が上昇した時に凹型に湾曲するように設計すれば、バイメタル板は温度上昇に伴ってグレーティングのピッチを狭くするように作用し、グレーティングの温度依存性をキャンセルすることが可能となり、グレーティングの反射中心周波数の温度係数を0 [GHz/°C] にすることができる。

【0035】従って、本発明では、縦モードの温度係数をグレーティングの反射中心周波数に一致させ、両者の温度係数を0 [GHz/°C] にすることができる。つまり、温度変化に対してモードホッピングが抑圧され、かつ共振周波数が変化しない温度無依存型レーザを実現することができる。

【0036】なお、以後、屈折率温度係数が半導体LDと逆の材料を、温度係数調整材料と記載する。

【0037】

【発明の実施形態】以下、図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。

【0038】なお、本発明の実施形態を説明するための*

$$\nu = 193 \text{ (THz)}$$

図1に示す温度無依存型レーザのグレーティング15の反射中心周波数の温度依存性について説明する。

【0043】グレーティング15の反射中心周波数 f_{res} は、反射中心波長 λ_{res} を用いて次式(3)で表わされる。ここで、 c は光の速さを表し、 $c = 3.0 \times 10^8$ (m/s) である。

【0044】

【数2】

$$\lambda_{\text{res}} = 2 n_{\text{sc}} \Lambda$$

従って、図1に示す温度無依存型レーザのグレーティング15の反射中心周波数 f_{res} の温度係数は、上式(3)、(4)から求めることができるが、Si基板16の下部にバイメタル板51を図1に示すように接着することで、その反射中心周波数の温度依存性を無くしている。

【0047】以下、その原理を詳しく説明する。バイメタル板51は、熱膨張係数の異なる2種類のメタル層からなり、温度に依存してその厚みが増える。したがって、温度が上昇するとバイメタル板51は湾曲し、バイメタル板51は基板16に接着されているので、温度上昇に対して基板16を湾曲させることができる。温度上昇に伴って基板16を湾曲させることにより、上式(4)で表わされるグレーティング15のピッチ Λ を変化させ、反射中心波長 λ_{res} （反射中心周波数 f_{res} ）を制御することができる。

【0048】特に、温度上昇に伴って図3で示す凹型の

(5)

特開2002-134833

8

* 全図において、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0039】（第1の実施形態）本発明の第1の実施形態として、光導波路が石英系ガラスで構成された温度無依存型レーザを例に挙げて説明する。

【0040】図1、図2に本発明の第1の実施形態の構成を示す。図1は、レーザの断面図であり、図2は、レーザの上面図である。ここで、11はレーザ光を出射する半導体LD、12は溝中に搭載した温度係数調整材料、13は光が伝播する石英導波路の屈折率の高いコア、14はコアよりも屈折率の低いコアの周囲の石英導波路のクラッド、15は石英導波路に形成されたグレーティング、16はこれらを搭載する平面基板であるSiの基板、18は半導体LD11を搭載するために石英ガラスを取り除いた部分であるシリコンテラス、および51は本発明の特徴構成要素であるバイメタル板である。バイメタル板51は本例ではSi基板16の下面に接着されている。

【0041】半導体LDの波長は1.55 μm である。従って、温度無依存型レーザのおおよその光の周波数は次式(2)で表される。

【0042】

(2)

$$f_{\text{res}} = \frac{c}{\lambda_{\text{res}}} \quad (3)$$

【0045】ここで、反射中心波長 λ_{res} は、石英導波路の実効屈折率 n_{eff} とグレーティング15のピッチ Λ を用いて次式(4)のように表わされる。

【0046】

(4)

方向に基板16が湾曲する場合、グレーティング15のピッチ Λ が狭まり、反射中心波長 λ_{res} を短波側にシフトさせることができる。

【0049】これに対し、バイメタル板51を装着していない通常の石英導波路に形成されたグレーティング15の場合には、その反射中心波長 λ_{res} は温度係数0.11 nm/°Cで長波長側にシフトする。したがって、本実施形態では、バイメタル板51を基板16の下面側に装着することにより、この長波長側へのシフト量を補償して、グレーティング15の反射中心波長 λ_{res} の温度係数を0 [nm/°C] にすることができる。このとき、グレーティング15の反射中心周波数 f_{res} の温度係数は0 [GHz/°C] である。

【0050】以下、グレーティング15の温度無依存化のパラメータについて述べる。

【0051】本例では、参考文献の特願平11-191373号、及びHbino, et al, "Temperature-insens

9

active UV-induced Bragg gratings in silica-based planar lightwave circuits on Si³, Electron. Lett., vol., 1999, 35, no. 21, pp. 1844-1845の記載に従い、厚さ1.5mmのバイメタル板51をS1基板16の下面に接着することにより、グレーティング15の中心周波数の温度係数を0 [GHz/°C] にしている。このとき用いた石英導波路チップの大きさは、長さ30mm、幅10mm、厚さ1mmであ

$$m = \frac{m_{LD} n_{LD} L_{LD} + m_{wg} n_{wg} L_{wg} + m_m n_m L_m}{n_{LD} L_{LD} + n_{wg} L_{wg} + n_m L_m} \quad (5)$$

【0055】ただし、 m_{LD} 、 m_{wg} 、 m_m は、それぞれ半導体LD11の共振器の共振周波数の温度係数、石英導波路部分を共振器とした場合の共振周波数の温度係数、温度係数調整材料12の温度係数である。 n_{LD} 、 n_{wg} 、 n_m は、それぞれ半導体LD11の導波層の実効屈折率、半導体LD11とグレーティング15の間の石英導波路の実効屈折率、温度係数調整材料12の屈折率である。

$$m = 0 \text{ [GHz/°C]} \quad (6)$$

のとき、縦モード周波数は温度が変化しても一定のままである。また、グレーティング15の反射中心周波数 $f_{\text{res,gr}}$ の温度係数が上述のように0 [GHz/°C]となっているので、グレーティング15の反射中心周波数 $f_{\text{res,gr}}$ も温度が変化しても一定のままである。ここで、この周波数安定化レーザでは、グレーティング15の反射中心周波数に最も近い周波数の縦モードが選択されて発振する。両者の周波数は温度に依存しないので、温度が変化しても常に同じ縦モードが選択されて発振している。つまり、温度に依存したモードホッピングが抑制さ

$$\frac{m_{LD} n_{LD} L_{LD} + m_{wg} n_{wg} L_{wg} + m_m n_m L_m}{n_{LD} L_{LD} + n_{wg} L_{wg} + n_m L_m} = 0 \quad (7)$$

【0061】以下、(7)式を満たす温度補償材料12の封入領域の全長 L_m を求める。ここで温度係数調整材料12としてシリコン樹脂を用いた。このシリコン樹脂12が封入された領域を除く石英導波路部分の温度

$$m_{wg} = \frac{d\nu}{dT} = -1.4 \text{ (GHz/K)} \quad (8)$$

【0063】シリコン樹脂12の搭載部分の温度係数 m_m は次式(9)で表される。

$$m_m = 5.4 \text{ (GHz/K)} \quad (9)$$

【0065】式(8)および式(9)の導出方法は、特開平11-97784号公報に詳しく述べられている。

【0066】また、半導体LD11の長さ L_{LD} は0.60mm、半導体LD11の導波層の等価屈折率 n_{LD} は3.5、石英導波路の等価屈折率 n_{wg} は1.45である。シリコン樹脂12の屈折率 n_m は1.39である。半導体LD11の出射端面からグレーティング15の手前までの長さは5.0mmであり、グレーティング15の長さは3.0mmである。従って、半導体LD1

(6)

特開2002-134833

10

※り、その内グレーティング15の真下を覆う10mmの領域にバイメタル板51を接着している。

【0052】次に、図1に示す温度無依存型レーザの縦モードの温度係数について説明する。

【0053】縦モードの温度係数 m は近似的に式(5)で表される。

【0054】

【数3】

※【0056】また、 L_{LD} 、 L_m 、 L_{wg} は、図2に示すように、それぞれ半導体LD11の共振器長、温度係数調整材料12が搭載された部分の長さ、半導体LD11の出射端面からグレーティング15中心までの(温度係数調整材料12が封入された領域を除く)石英導波路部分の長さを表す。

【0057】上式(5)で表される縦モードの温度係数 m が

$$(6)$$

20★れている。従って、温度無依存、かつ温度に依存したモードホッピングが抑制された温度無依存型レーザが実現されていることが分かる。

【0058】以下、本発明の第1の実施形態において、縦モード周波数の温度係数が0 [GHz/°C]となるための温度補償材料12の封入領域の全長 L_m を求める。

【0059】上記の式(5)と式(6)により、温度無依存型レーザの条件は次式(7)で与えられる。

【0060】

【数4】

★係数 m_{wg} の値は、次式(8)のように表わされる。

【0062】

【数5】

1の出射端面からグレーティング15の中心までの(温度係数調整材料12が封入された領域を除く)石英導波路部分の長さ L_{wg} は、(6.5- L_m)mmである。また、半導体LD11の温度係数は $m_{LD} = -12.9$ (GHz/K)である。

【0067】そこで、第1の実施形態の設計においては、上記の式(7)において上記のパラメータと式(8)、式(9)とに基づき、全長 L_m を0.52mmと設計した。

【0068】図1、図2の温度無依存型レーザを上記のパラメータに従って設計し、実際に作製を行った。この作製工程を図4に示す。この作製工程は、図4に示すように、以下の8工程からなる。

11

(1) エッチングにより段差のあるSi基板16を作る。

(2) 光ファイバの作製技術を応用した火炎堆積法とLSI(大規模集積回路)の作製に用いられるフォトリソグラフィ技術を用いて、石英導波路をSi基板16上に形成する。13は石英導波路のコア、14は石英導波路のクラッドを示す。

(3) フォトリソグラフィ及び反応性イオンエッチングを用い、石英層の一部エッチングして半導体レーザ搭載部(Siテラス)18及び溝21を作製する。

(4) Siテラス18上に半導体レーザ搭載用の半田パターン19を形成する。

(5) エキシマレーザ光(あるいはアルゴンレーザ)の第2高調波31をフェイズマスク30を通して導波路に照射することにより、グレーティング15をコア13の位置に作製する。

(6) 半導体レーザ(半導体LD)11をシリコンテラス18を覆う半田パターン19の上に位置合わせ後、固定する。

(7) 上記溝21にシリコン樹脂12を充填し、加熱してシリコン樹脂を硬化させる。

(8) Si基板16の下面のグレーティング15の真下にバイメタル板51を接着する。

【0069】図5の特性図は本発明の第1の実施形態における温度無依存型レーザの発振周波数の温度依存性の測定結果を示す。測定の結果、-15℃から65℃までの範囲で発振周波数が一定で、かつモードホッピングの抑制が確認できた。また、25℃における発振のためのしきい値電流は200mAであった。

【0070】(第2の実施形態)次に、本発明の第2の実施形態について説明する。図6は本発明の第2の実施形態の温度無依存型レーザの断面構成を示す。上述の第1の実施形態との相違点は、本第2の実施形態において、バイメタル板51をSi基板16の裏面全体に取り付けている点である。バイメタル板51をSi基板16の裏面(下面)全体に取り付けることにより、グレーティング15から半導体LD11までの石英導波路部分の光路長を温度無依存化することができる。したがって、本実施形態では、温度係数調整材料12で補償する部分は半導体LD11のみである。

【0071】以下、具体的な数値例を示す。貼り付けるバイメタル板51の厚さは第1の実施形態と同様に1.5mmであり、用いた石英導波路チップの大きさは、第1の実施形態と同様に、長さ30mm、幅10mm、厚さ1mmであり、その長さ30mmの部分全部にバイメタル板51を接着により装着している。これにより、第1の実施形態と同様に、グレーティング15の中心周波数の温度無依存化が実現され、さらにグレーティング15から半導体LD11までの石英導波路部分の光路長も温度無依存化されている。

(7)

特開2002-134833

12

【0072】以下、縦モード周波数 m が0 [GHz/℃]となるために、温度係数調整材料12を挿入する溝幅 L_m を計算する。上記のように、グレーティング15から半導体LD11までの石英導波路部分の光路長が温度無依存化されているので、上記の式(7)の分子の第2項は0 [GHz・mm/℃]である。従って、式(7)より、温度無依存型レーザの条件は次式(10)で与えられる。

【0073】

$$m_{10} n_{10} L_{10} + m_n n_n L_n = 0 \quad (10)$$

【0074】上述した第1の実施形態と同様に計算すると、全長 L_n は0.36 [mm]となった。

【0075】この溝幅 L_n の長さは第1の実施形態の半分近い長さである(第1の実施形態では L_n は0.52mm)。溝の長さが半分近くなったことで、溝を透過する光のエネルギーが2倍近くまで増加している。

【0076】以下、溝による透過損失について説明する。

【0077】導波路中に溝21(図4の(3)を参照)を作製し、導波路構成材料と別の材料12をこの溝21に搭載すると、導波路を透過する光の導波モードが変化し、溝21がない場合に比較して透過損失が生じる。

【0078】モード径 ω 、波長 λ の光が溝幅 d の溝を透過する場合の透過率 η は、次式(11)で表わされる。

【0079】

【数6】

$$\eta = \frac{1}{1 + \left(\frac{\lambda}{2n\pi\omega^2 d} \right)^2} \quad (11)$$

【0080】ここで、 λ は波長で $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ であり、 n はシリコン樹脂12の屈折率であって、 $n = n_n = 1.39$ であり、 ω は導波路中のモードフィールド径(半径)であって、 $\omega = 4 \sim 4.5 \mu\text{m}$ である。

【0081】上記の式(11)から、透過率 η は、溝幅 d が増加するとともに急激に減少することがわかる。

【0082】上記の数値を式(11)に代入すると、溝幅 d を減少させた本第2の実施形態においては、前述の第1の実施形態と比較して、溝による透過率を2倍程度にできることがわかる。その結果、レーザキャビティ中の損失が減少し、温度無依存型レーザのしきい値電流が減少している。

【0083】図7は本第2の実施形態における温度無依存型レーザの発振周波数の温度依存性の測定結果を示す。第1の実施形態と同様に、-15℃から65℃の範囲で発振周波数が一定で、かつモードホッピングの抑制が確認できた。25℃におけるしきい値電流は100mAであった。

【0084】(第3の実施形態)本発明の第3の実施形態として、第2の実施形態と同様な断面構造であって、石英導波路がなす角度を82度にした温度無依存型レー

(8)

特開2002-134833

13

ザの例を図8に示す。図8は温度無依存型レーザの上面図を示している。

【0085】シリコン樹脂12を収納する溝と、コア13およびクラッド14からなる石英導波路13とがなす角度を82度にした理由を以下に記載する。石英導波路との屈折率差が、シリコン樹脂12と比較して大きな温度係数調整用材料を用いる場合は、屈折率差が大きいため石英導波路と温度係数調整用材料の界面で光の反射が大きくなる。大量の反射光が半導体LD11に戻った場合、温度無依存型レーザの発振が不安定になる。したがって、温度係数調整用材料の種類によっては、温度変化に対するモードホッピングの抑制を困難にする場合が生じる。

【0086】ところが、溝と石英導波路がなす角度を82度にすれば、反射光は導波路のコア13からクラッド14に抜けることで半導体LD11に戻らず、温度無依存型レーザの発振は安定になる。すなわち、温度無依存型レーザのモードホッピングの抑制に石英導波路との屈折率差が大きな温度係数調整用材料も用いることができるようになる。

【0087】本第3の実施形態の場合も、第1の実施形態と同様に、-15℃から65℃の範囲で発振周波数が一定でかつモードホッピングの抑制が確認できた。25℃におけるしきい値電流は100mAであった。

【0088】(第4の実施形態) 本発明の第4の実施形態として、上記第3の実施形態における上記溝を複数本にした温度無依存型レーザの例を図9及び図10に示す。図9にその温度無依存型レーザの断面図、図10にその温度無依存型レーザの上面図を示す。図9及び図10においては、0.36mmの溝を複数本の狭い溝に分割していることを特徴としている。具体的には、幅15μmの溝を24本作製している。この24本の溝のそれぞれにシリコン樹脂12を充填している。測定の結果、モードホッピングの抑制が-15℃から65℃まで確認され、25℃におけるしきい値電流は、実施形態3と比較して1桁低い10mAが得られた。

【0089】以下、狭い複数個の溝を作製して低いしきい値電流が得られた理由を記載する。

【0090】溝幅に対する透過損失の依存性は上記の式(11)に表わされている。式(11)から溝の導波路方向の全長が長くなればなるほど、その透過損失が急速に増加することがわかる。したがって、一つの太い溝に一括して上記温度係数調整材料を搭載する場合と比較して、複数個の細い溝に分けて上記温度係数調整材料を搭載する場合の方が、透過光のロスが少なくなる。よって、図7、図8に示すような単一溝を用いる前者の場合と比較して、図9、図10に示すような複数溝を用いた後者の方がレーザキャビティ中の損失を減少させ、温度無依存型レーザのしきい値電流を減少させることができる。

14

【0091】(第5の実施形態) 本発明の第5の実施形態として、上記の第4の実施形態の構成であって、高温特性の優れた半導体LDを搭載した温度無依存型レーザの例を図11に示す。図11にこの温度無依存型レーザの断面図を示す。ここで、52は、高温特性の優れた半導体LDである。本例では、温度無依存型レーザが高温特性の優れた半導体LD52を搭載している点を特徴とする。すなわち、半導体LD52が、前端面がコーティングなし後端面95%程度の高反射コーティングの状態において、85℃程度の高温領域においても、しきい値電流が15mAであり、かつ(注入電流60mAにおける)出力が25℃における出力の3/4程度もある半導体LDである点である。

【0092】本第5の実施形態の場合、-15℃から65℃の温度範囲で発振波長は、温度無依存であり、しきい値電流は、25℃において10mAが得られた。しきい値電流は65℃においても15mAであった。出力変動は-15℃から65℃の温度範囲で3dB程度であった。以上のように、高温特性の優れた半導体LDを用いることで、発振周波数が温度に依存しないだけでなく、しきい値電流および光出力の温度依存性が少ない温度無依存型レーザを実現することができた。

【0093】この結果は、温度に対して、前端面がコーティングなし後端面95%程度の高反射コーティングの状態において、しきい値電流および出力の変動が小さい半導体LD52を用いて温度無依存型レーザを作製しているため、本温度無依存型レーザのしきい値電流変動および出力変動も抑制されているを示している。

【0094】(他の実施形態) 上述した本発明の第1～第5の実施形態では、温度係数調整材料12としてシリコン樹脂を用いたが、本発明はこれに限定されることはない。

【0095】また、本発明の第1の実施形態においては、長さ520μmの溝を1本作製し、第2～第5の実施形態においては合計で長さ360μmの溝を作製し長さ360μmの溝を1本または幅15μmの溝を24本作製した。しかし、溝の間隔と本数の設計はこれに限定されることはない。幅5～50μmの溝を複数本作製し、合計の長さが第1の実施形態の形態であれば、500μm±80μm、合計の長さが第2～第5の実施形態の形態であれば360±50μmとなるようにすれば、本発明の第1の実施形態1及び第2～第5の実施形態の結果と同様に、発振周波数が温度に無依存となり、また温度に依存したモードホッピングが抑制される。

【0096】また、本発明の第1～第5の実施形態においては、単体の温度無依存型レーザを説明したが、本発明の効果が単体の温度無依存型レーザに限定されることはない。温度無依存型レーザを同一基板上に複数個集積した構成のレーザにも本発明の効果は有効である。以下、(第1)～(第6)に詳しく具体例を記載する。

15

【0097】（＃1）温度無依存型レーザを複数個集積することで作製したレーザアレイにおいても本発明の効果が有効である。図12は本発明の温度無依存型レーザを集積したレーザアレイの模式的上面図を示す。ここで、レーザアレイの出力数は8に限定されるものでなく、複数であればよい。また、同図において溝12の位置）は連結されており、液だめ42の位置）へとつながっている。注入したシリコン樹脂12は液体であるので、その液だめに注入することにより、一括して効率的に基板上に適量の上記シリコン樹脂12を注入することができ、41は連結用溝の中の温度係数調整用材料、42は液だめの中の温度係数調整用材料を衰わしている。この液だめは、溝への注入時に注入する材料が液体である材料であれば、すべての温度係数調整材料に適用できる。

【0098】（＃2）また、上記の（＃1）の構成において、グレーティング15の各々の反射中心周波数（波長）を制御し、アレイ格子型1×N波長合分波器又は1×Nカブラを集積した多波長レーザにおいても、本発明の効果が有効である。図13はこの場合の本発明の温度無依存型レーザを集積した多波長レーザの模式的上面図を示す。同図において、20はグレーティング15の各々の出力側と接続するアレイ格子型1×N波長合分波器又は1×Nカブラを示す。ここで、この多波長レーザの波長多重数は8に限定されるものでなく複数であればよい。なお、この構成では、周波数を決定すると同時に波長が決定されるので、周波数および波長の安定化、ないし制御は同じ意味で用いることができる。要するに、温度無依存型レーザと波長安定化レーザとは同義で用いることができる。

【0099】（＃3）また、上記の（＃2）の構成において、反射中心波長が異なるグレーティング15を一括して作製するために、これらグレーティング15が形成されている部分の導波路のコア幅をそれぞれ導波路ごとに異ならせ、またはこれらグレーティング15が形成されている部分の導波路の光軸とグレーティングベクトルがなす角度がそれぞれ導波路ごとに異なるように形成した多波長レーザ（参考文献：特開平10-242591号公報参照）においても、本発明の効果が有効である。

【0100】（＃4）さらに、上記（＃2）または上記（＃3）の構成において、合波した出力光を増幅するために、半導体光増幅器（アンプ）が集積されていることを特徴とする多波長レーザにおいても、本発明の効果が有効である。

【0101】（＃5）また、上記（＃2）または上記（＃3）または上記（＃4）の構成において、各波長出力を高速に変調するため、各半導体LD11にEA（電界吸収型；Electro-Absorption）変調器が集積されていることを特徴とする多波長レーザにおいても、本発明の効果が有効である。

(9)

特開2002-134833

16

【0102】（＃6）また、上記（＃2）または上記（＃3）または上記（＃4）の構成において、各波長出力を高速に変調するため、LiNbO₃変調器またはEA変調器が集積されていることを特徴とする多波長レーザにおいても、本発明の効果が有効である。

【0103】さらに、本発明の第1の実施形態では、平面基板16の裏面にバイメタル板516を接着したが、バイメタル板51を接着する面がクラッド14の上面であっても、基板裏面とクラッド上面の両方であっても、温度変化に対して適切な方向に基板16をそろすように接着すれば、同様な効果が得られることは言うまでもない。

【0104】さらにまた、本発明の第1～第5の実施形態では、基板上に搭載する半導体LDを発振波長1.55μmの半導体LDとしたが、一般的には他の発振波長の半導体LDを用いても、バイメタル板の形状やバイメタル板を接着する領域を適切に設計し、光導波路のサイズや、温度係数調整材料の搭載領域の全長を適切に設計することで、発振周波数の温度無依存化及びモードホッピングの抑制が可能であることは言うまでもない。

【0105】また、半導体LDを搭載したデバイスを実用化するにあたり、半導体LDを樹脂で封止することにより、つまり半導体LDを湿気にさらさないようにすることで、長期的信頼性を確保することが一般的に行われている。従って、本発明の第1～第5の本実施形態で述べた温度係数調整材料12が樹脂封止材料を兼ねる材料である場合には、この温度係数調整材料を搭載するための溝から半導体LDまでのおおむね全領域に、この温度係数調整材料を一括して搭載することにより、モードホッピングの抑制と半導体LDの信頼性確保が同時に可能になることは言うまでもない。ただし、この場合、この温度係数調整材料は半導体LDと石英導波路の間の僅かな隙間にも搭載されているので、半導体LDの前端面の反射防止膜はその温度係数調整材料の屈折率に対して設計されていることが必要である。

【0106】例えば、上記構成において、温度係数調整材料の屈折率が石英導波路の屈折率 $n = 1.45$ に等しい場合には、半導体LD側の石英導波路端面と温度係数調整材料との間で光の反射が生じない。したがって、この場合は、半導体LD側の石英導波路端面はコアの近傍部がコアの光軸に対して直交してもよい。

【0107】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、基板下面あるいはクラッド上面のうち少なくとも片面に2種の金属からなるバイメタル板を接着し、上部クラッドとコアを除去した溝部分、または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した溝部分に、温度係数調整材料を封入するという簡便な方法を用いることにより、縦モードの温度係数とグレーティングの反射中心波長の温度係数を共に0 [GHz/°C] に一致させ、従来解決すべ

(10)

特開2002-134833

17

18

き課題となっていた発振周波数の温度依存性を無くし、同時にモードホッピング抑制することが容易にできるという効果を奏する。

【0108】従って、本発明を用いれば、低コストで、温度依存性が無い安定した単一モードレーザの実現が可能となり、光通信等レーザを用いる分野において多大な効果が期待される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態の温度無依存型レーザの構造を示す模式的断面図である。

【図2】本発明の第1実施形態の温度無依存型レーザの構造を示す模式的上面図である。

【図3】本発明の第1実施形態において温度上昇とともに基板がそる様子を指示す模式図である。

【図4】本発明の第1実施形態の温度無依存型レーザの作製工程を示す模式図である。

【図5】本発明の第1実施形態における温度無依存型レーザの発振周波数の温度依存性の測定結果を示す特性図である。

【図6】本発明の第2実施形態の温度無依存型レーザの構造を示す模式的断面図である。

【図7】本発明の第2実施形態における温度無依存型レーザの発振周波数の温度依存性の測定結果を示す特性図である。

【図8】本発明の第3実施形態において、溝と導波路のなす角を82度にした温度無依存型レーザの構造を示す模式的上面図である。

【図9】本発明の第4実施形態において、溝を細溝に分割した温度無依存型レーザの構造を示す模式的断面図である。

【図10】本発明の第4実施形態において、溝を細溝に分割した温度無依存型レーザの構造を示す模式的上面図*

*である。

【図11】本発明の第5実施形態において、高温特性の優れた半導体LDを搭載した温度無依存型レーザの構造を示す模式的断面図である。

【図12】本発明のその他の実施形態として、上記本発明の実施形態の温度無依存型レーザを集積して作製したレーザアレイの構造を示す模式的上面図である。

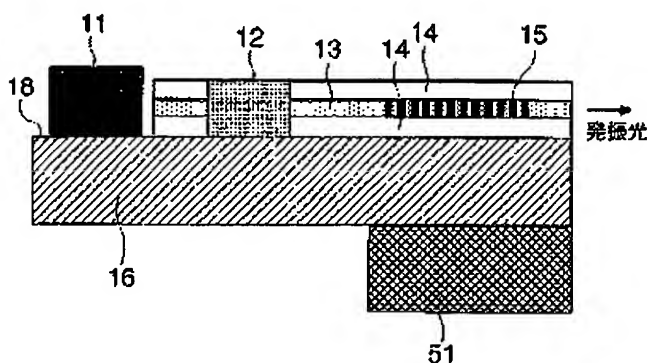
【図13】本発明のさらに他の実施形態として、上記本発明の実施形態の温度無依存型レーザを集積して作製した多波長レーザの構造を示す模式的上面図である。

【図14】従来のグレーティングを用いた周波数安定化レーザをなめ上方から観察した模式的斜視図である。

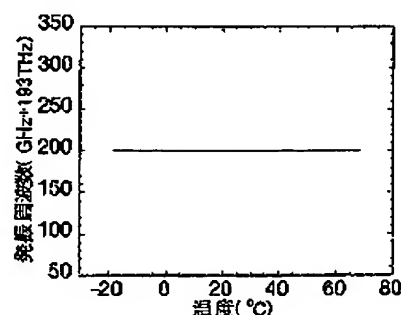
【符号の説明】

- 11 半導体LD
- 12 温度係数調整用材料（シリコン樹脂）
- 13 石英導波路のコア層
- 14 石英導波路のクラッド層
- 15 グレーティング
- 16 Si基板
- 18 シリコンテラス
- 19 半導体レーザ搭載用の半田パターン
- 20 アレー格子型1×N波長台分波器あるいは1×Nカプラ
- 21 溝
- 30 フェイスマスク
- 31 エキシマレーザ光あるいはアルゴンレーザの第2高周波
- 41 連結用溝の中の温度係数調整用材料
- 42 液だめの中の温度係数調整用材料
- 51 バイメタル板
- 52 高温特性の優れた半導体LD

【図1】



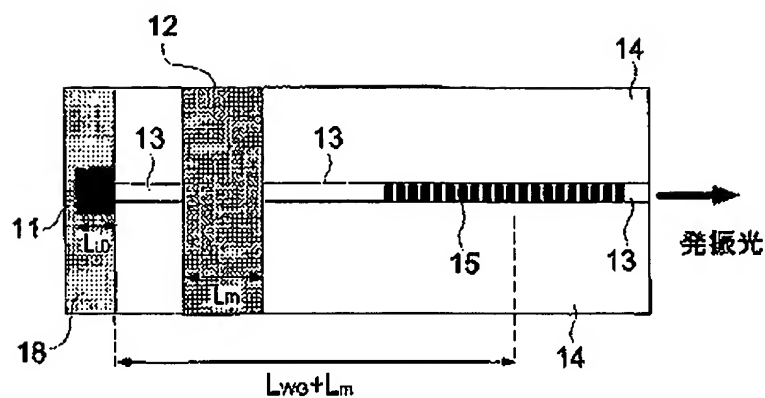
【図5】



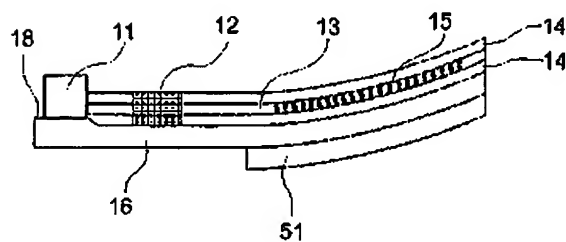
(11)

特開2002-134833

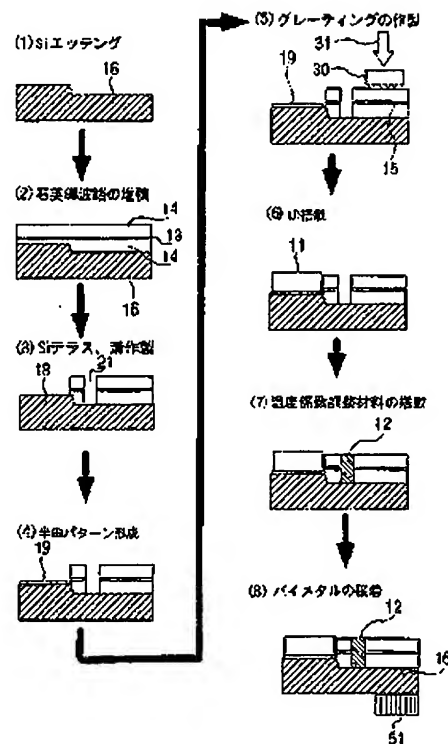
【図2】



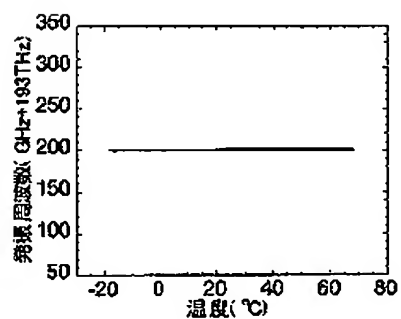
【図3】



【図4】



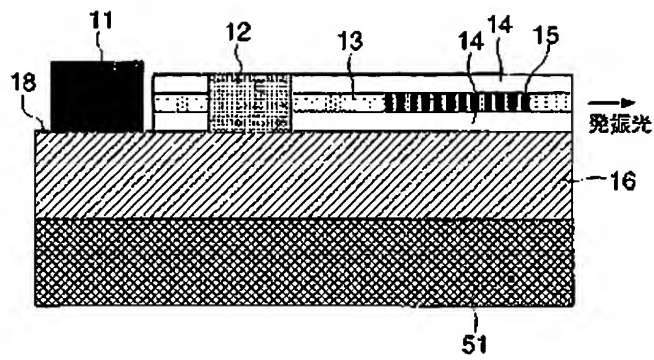
【図7】



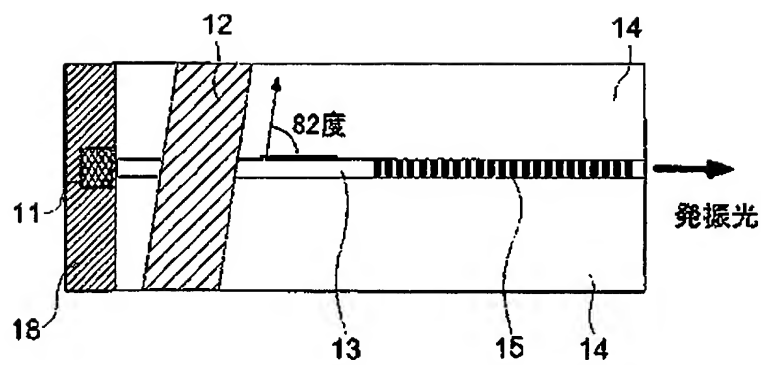
(12)

特開2002-134833

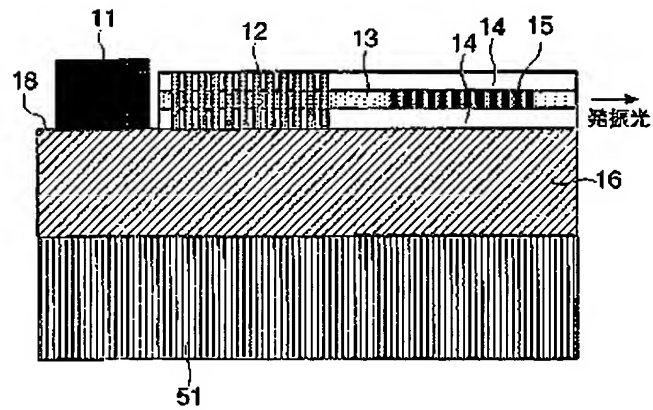
【図6】



【図8】



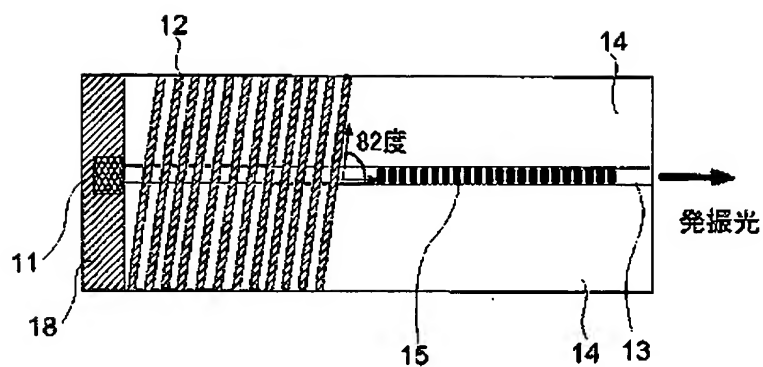
【図9】



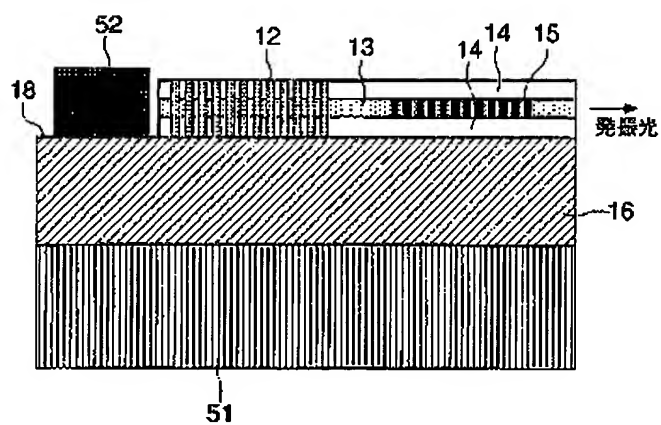
(13)

特開2002-134833

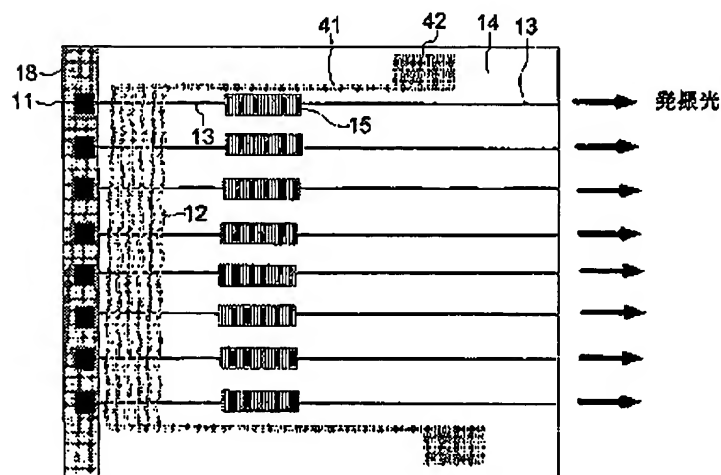
【図10】



【図11】



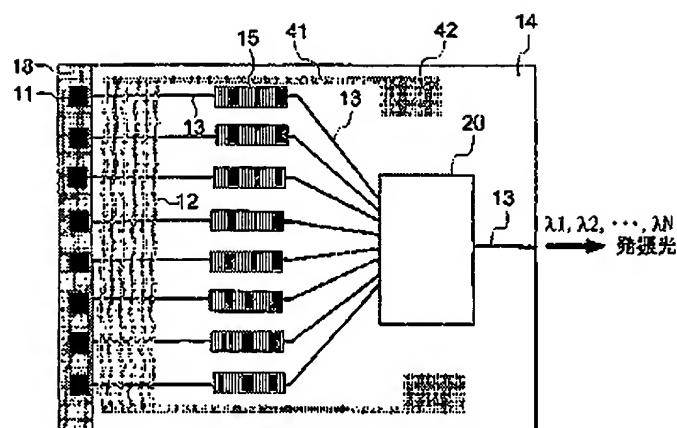
【図12】



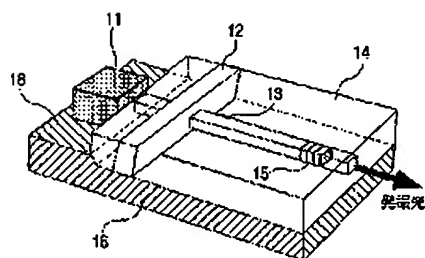
(14)

特開2002-134833

【図13】



【図14】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.
H01S 5/026

識別記号

F I
G 0 2 B 6/12

Fターム(参考)

A
H

(72)発明者 大庭 直樹
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 阿部 淳
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2H037 BA02 CA00 CA02 CA33 CA37
DA37
2H041 AA21 AB10 AB38 AC01 AZ01
AZ05
2H047 LA03 LA19 MA07 NA10 TA00
5F073 AA65 AA67 AB02 AB25 BA02
EA03 FA06 FA13